

## 인공 식물섬에 적합한 식물의 선발- 4종 정수식물의 식생구조와 생장의 비교

이효혜미<sup>1)</sup> · 권오병<sup>1)</sup> · 석정현<sup>1)</sup> · 조강현<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>아쌈(주) 호소생태연구소 · <sup>2)</sup>인하대학교 생물해양학부

## Selection of Suitable Plants for Artificial Floating Islands – Comparisons of Vegetation Structure and Growth of Four Emergent Macrophytes

Hyo Hye Mi Lee<sup>1)</sup>, Oh Byung Kwon<sup>1)</sup>, Jeong Hyun Suck<sup>1)</sup> and Kang-Hyun Cho<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Institute of Limnology, Assum Ecological Systems, Inc.

<sup>2)</sup>Division of Biology and Oceanography, Inha University

### ABSTRACT

The floating islands have been constructed for the water quality improvement and the biodiversity conservation in an disturbed aquatic ecosystem. We made floating islands consisted of a special float and substrates of coconut fibers implanted with four emergent macrophytes such as *Phragmites australis*, *Zizania latifolia*, *Iris pseudoacorus*, *Typha angustifolia*. Vegetation structure and plant growth were compared between on the floating islands and on ground in order to select suitable plants for the construction of floating islands. Emergent-macrophytic vegetation on the floating islands showed lower coverages and higher plant biodiversity due to natural introduction of various hydrophytes and hygrophytes. Shoot density was increased on floating islands except for *Zizania latifolia*. From the point of coverage and density of plants, *Phragmites australis* and *Iris pseudoacorus* were suitable for floating islands. Total biomass of emergent macrophytes was decreased on the floating islands. The belowground/aboveground biomass ratio of floating islands was higher than that of the ground. Out of planted macrophytes, *Iris pseudoacorus* with a high belowground/aboveground biomass ratio could be evaluated a suitable plant for the floating islands because a plenty of its root is profitable to adapt with the nutrient-limited environment of floating islands.

Key words : *Belowground/aboveground*, *Biomass*, *Emergent macrophytes*, *Floating islands*, *Vegetation*

## I. 서론

지구상에서 가장 중요한 생태계 중에 하나인 습지는 수질 정화, 홍수 방지, 지하수 재충전, 생물다양성 부양 등의 다양한 기능을 수행한다. 그러나 세계적으로 습지는 빠르게 파괴되어 왔고, 현재에도 습지에서 개발과 보존의 갈등이 지속되고 있다. 습지의 독특한 특징은 물의 존재, 습윤한 조건에 적응한 수생식물(hydrophytes)에 의하여 규정된다(Mitsch and Gosselink, 1993). 특히 수생식물은 무기 혹은 유기영양소를 흡수 또는 흡착하며 미생물의 서식처를 제공하고 통기조직을 통한 근권의 산화로 유기물의 분해를 촉진할 뿐만 아니라, 호안과 하안의 수변부에서 습지대를 형성하여 다양한 생물의 서식공간을 제공하는 중요한 기능을 수행하고 있다(조강현, 1992).

사라져가는 습지를 조성하는 하나의 방법으로 자연 습지에 존재하는 floating mat(혹은 floating marsh)를 모방하여 생태공학적으로 식물섬(floating island)을 조성하는 기술이 개발되고 있다(Mueller *et al.*, 1996). 인공적으로 조성된 식물섬은 식물을 물 속에 잠기지 않고 뜨게 하는 부체와 식물의 뿌리와 지하경을 고정하는 기질로서 구성된다. 자연 습지에서 floating mat는 외부로부터 무기 퇴적물의 공급이 없고 퇴적물이 유기화되면 퇴적물이 가벼워지고 부력이 생겨서 형성된다. 이렇게 퇴적물이 부상하면 식물이 불규칙한 침수로부터 벗어나고 퇴적물의 표면이 침수되지 않고 항상 습윤한 상태로 유지되어 식물 생장이 안정화된다(Sasser and Gosselink, 1984). 더욱이 부들의 floating mat는 퇴적물로부터 질소와 메탄 가스가 발생하여 더욱 부력을 얻게 된다(Hogg and Wein, 1988). 일반적으로 floating mat에서는 두터운 유기물 기질에 뿌리가 얽혀 있고, 식물의 지상부 성장보다는 지하부 생장이 활발하다(Mitsch and Gosselink, 1993).

현재 식물섬 조성 기술은 일본을 중심으로 활발히 개발되고 있다. 일본에서 浮島로 불리는 식물섬은 1993년에 건설성에서 가스미가우라호에 수질을 정화하고 생태계의 안정을 도모하는

목적으로 설치한 이래 1999년까지 약 200개 장소에 부도를 설치하였다(권오병, 1999). 우리나라에서도 1998년 충남 아산시 마산저수지에 줄, 갈대, 애기부들의 식물섬이 최초로 설치되었으며(이광식 등, 1999), 이후에 전문적으로 식물섬을 조성하는 기술을 보유한 기업이 생기게 되었다. 식물섬은 수심이 깊거나 수위 변동이 큰 곳, 호안 경사가 급한 곳, 그리고 기질이 콘크리트와 같은 곳에 적용할 수 있어서 수질정화, 생물서식공간의 제공, 파랑 감소 및 경관미 조성 등의 효과를 기대할 수 있다.

식물섬 조성에 있어서 부체의 기질에 정착할 식물의 생장이 식물섬의 기능을 증대시키는데 매우 중요하다. 그러므로 본 연구의 목적은 식물섬에 적합한 식물을 선발하기 위하여, 식물섬과 토양에 정수식물(emergent macrophyte)인 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들을 식재하고 이들의 식생 구조와 생장을 비교하여 식물섬에 적합한 식물의 특성을 규명하는데 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 조사지 개황 및 인공 식물섬의 구조

현지 조사는 충청북도 진천군 진천읍에 위치한 '주식회사 아쌈'의 야외 실험지에서 실시하였다(Fig. 1). 실험지는 인공적으로 조성된 1개

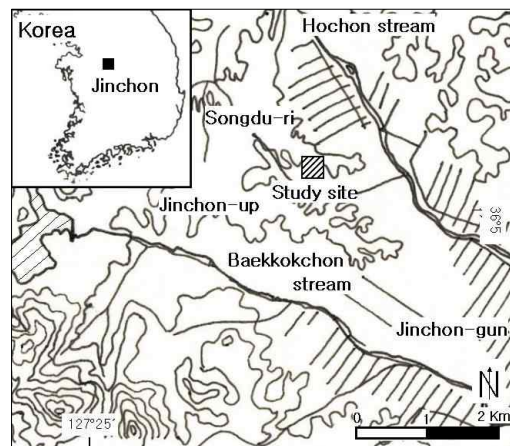


Fig. 1. A map showing the study site in which artificial floating islands were constructed.

의 수조와 1개의 연못 습지로 구성되었다. 제 1 실험지는 콘크리트 수조로서 면적이 148 m<sup>2</sup>이고 수심은 평균 100 cm이다. 제2실험지는 기반이 토양이며 면적이 112 m<sup>2</sup>이고 최대 수심이 60 cm이며 수변부가 완경사인 연못 습지이다. 두 실험 연못으로 공급되는 유입수는 실험지 상부의 농경지와 조경수 식재지를 통과한 지표수이다.

실험에 이용한 식물섬은 제1실험지에서 1998년 6월에 설치하였다. 식물섬의 크기는 2×2 m<sup>2</sup>이고 부체에 의하여 물위에 뜨도록 제작되었으며, 식물을 식재한 매질은 야자섬유로 조성되었다

(권오병, 1999) (Fig. 2). 식물섬에 이식할 1년생 식물묘를 황마포트에 담아서 포트를 16개/m<sup>2</sup>의 밀도로 야자섬유 매질에 이식하였다(Fig. 3). 식물섬은 식물별로 조성하였는데, 식재종은 정수 식물(emergent macrophytes)로서 갈대(*Phragmites australis*), 줄(*Zizania latifolia*), 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*) 및 애기부들(*Typha angustifolia*)의 4종이다. 갈대, 줄 및 애기부들은 우리나라 습지에서 가장 빈번히 출현하는 정수식물이고, 노랑꽃창포는 외래종으로서 조경용 수변식물로서 널리 식재되어 왔기 때문에 식물섬의 식재종으로 선정하였다.

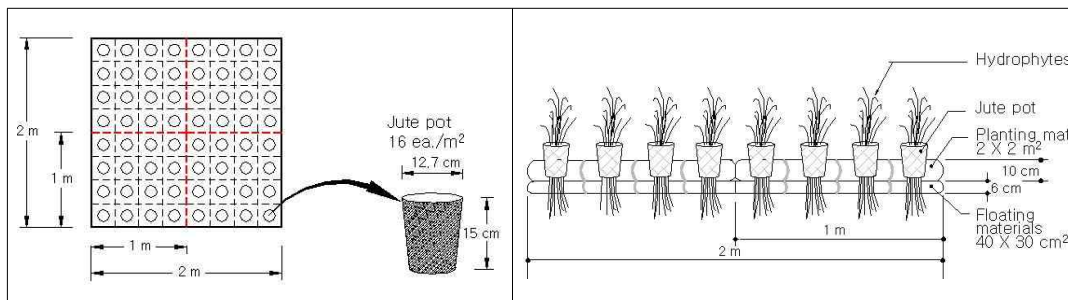


Fig. 2. Systematic diagram of floating island used in this study.

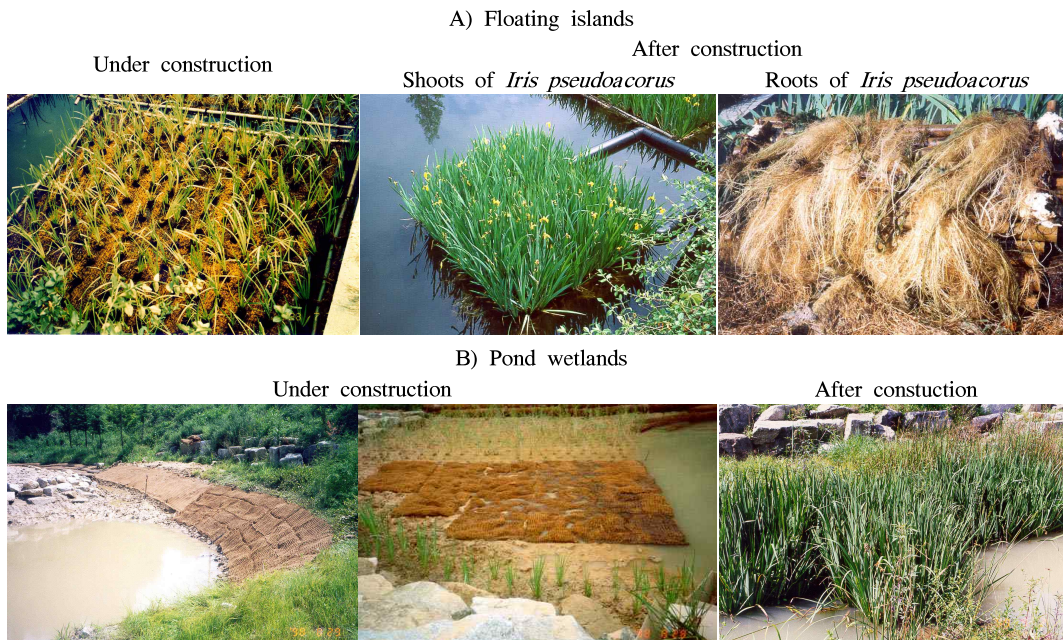


Fig. 3. Photographs of floating islands and pond wetlands.

식물섬에서의 식생 구조와 식물생장을 비교하기 위한 육상의 정수식물 군집은 1998년 6월에 제2실험지에 조성하였다(Fig. 3). 실험지의 연못가에 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들의 1년생 식물묘를 각각 25 cm 간격으로 이식하였다.

## 2. 조사 방법

2000년 9월에 제1실험지의 식물섬과 대조지 소로서 제2실험지의 육상에서 정수식물 군집의 식생구조와 생물량을 조사하였다. 식물섬과 육상의 정수식물 군집에 종별로 각각 5개의 0.3×0.3 m<sup>2</sup> 방형구를 임의로 설치하여 출현 식물종을 기록하고 식물종의 피도(coverage), 경엽부 밀도(density) 및 빈도(frequency)를 측정하였다. 식물의 동정은 대한식물도감(이창복, 1993)과 최홍근(1986)을 따랐다.

식물의 생물량을 측정하기 위하여, 정수식물 군집에 3개의 0.3×0.3 m<sup>2</sup> 방형구를 임의로 설치하여 식물체를 채집하였다. 식물섬에서는 방형구안의 야자섬유 매질을 잘라내어 채집하였고, 육상에서는 지표로부터 깊이 30 cm까지 토양을 삽으로 채토하여 채로 받치면서 토양을 물로 씻어서 식물체를 채집하였다. 채집된 식물체는 지상부(aboveground)인 경엽부(shoot) 및 지하부(belowground)인 지하경(rhizome)과 뿌리(root)로 구분하였다. 부위별로 분리한 식물 시료는 80°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조한 후 무게를 측정하였다.

## 3. 자료 처리

현장에서 측정된 식물종별 피도, 밀도 및 빈도로부터 상대피도, 상대 밀도 및 상대빈도를 산출하였다. 또한 상대피도, 상대밀도 및 상대빈도의 평균값으로부터 중요치(importance value)를 계산하였다.

각 식물군집별 생물다양성을 비교하기 위하여 Shannon과 Wiener의 종다양도지수( $H'$ , species diversity index)와 종균등도지수( $E'$ , species evenness index)를 다음 식에 의하여 산출하였다(여천생태연구회, 1997).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

$p_i$  = 모든 종의 중요치에 대한  $i$  번째 종의 중요치 비율

$$E' = H' / \ln k$$

$k$  = 출현 종수

## III. 결 과

### 1. 식물섬과 육상에서 식생 구조의 비교

식물섬에 식재한 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들의 피도는 45-60%로서 토양에 식재한 것의 70-98%에 비하여 낮았다(Table 1). 특히 토양에 식재한 4종 정수식물의 피도는 각 군집에서 전체 식물 피도의 대부분을 차지하였다. 식물섬에 식재된 정수식물의 경엽부 밀도는 줄을 제외하고 자연적인 토양의 것보다 높았다. 특히 갈대는 식물섬에서는 길이가 약 1 m에 달하고 직경이 가는 줄기의 경엽부가 931개/m<sup>2</sup>의 높은 밀도로 발생하였다.

각 식물섬에서 식물군집에서 우점도를 나타내는 중요치는 식재된 식물에서 가장 높았으나, 토양에 식재한 것보다는 낮았다(Table 1). 갈대 식물섬에서는 갈대가 우점하였으며 하늘지기, 여뀌바늘, 돌피 등이 우점하였다. 줄 식물섬에서는 줄의 중요치가 38%로서 가장 높았고 방동사니, 돌피, 조개풀 등이 함께 출현하였다. 노랑꽃창포 식물섬에서는 노랑꽃창포 이외에 돌피, 창포, 파대가리, 개구리밥 등이 공생하였다. 애기부들 식물섬에서는 세모고랭이가 중요치 37%로서 유일하게 혼생하였다. 토양에 식재한 정수식물 군집에서는 갈대와 줄 군집은 단일종이 출현하였으며, 노랑꽃창포 군집과 애기부들 군집에서 식재종인 노랑꽃창포와 애기부들의 중요치가 각각 68%와 83%에 달하였다. 특히 토양의 노랑꽃창포 군집에서는 갈대의 중요치가 27%로서 갈대가 상당히 침입하여 있었다.

출현종수, 다양도지수 및 균등도지수로 표시한 종다양성은 애기부들 군집을 제외하고 식물섬 군집이 육상 군집보다 높았다(Table 2). 특히 갈대와 줄 군집은, 육상에서는 단일종으로 구성된 순군집이었으나, 식물섬에서는 출현종수가

**Table 1.** Vegetation structure of four emergent macrophytes on the floating islands and on the ground (n=5)

Habitat	Species	Coverage (%)	Density (no./m <sup>2</sup> )	IV* (%)	
Floating island	<b><i>Phragmites australis</i> community</b>				
	<i>Phragmites australis</i> (갈대)	56.0	931	64	
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (돌피)	4.2	11	8	
	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (하늘지기)	4.4	18	8	
	<i>Ludwigia prostrata</i> (여뀌바늘)	5.0	11	8	
	<i>Cyperus difformis</i> (알방동사니)	0.4	4	3	
	<i>Cardamine flexuosa</i> (황새냉이)	0.2	2	2	
	<i>Digitaria violascens</i> (민바랭이)	0.2	2	2	
	<i>Persicaria sieboldii</i> (미꾸리낙시)	0.2	2	2	
	<i>Sedum bulbiferum</i> (말뚱비름)	0.2	2	2	
	<i>Trifolium repens</i> (토끼풀)	1.0	11	2	
	<b><i>Zizania latifolia</i> community</b>				
	<i>Zizania latifolia</i> (줄)	45.0	178	38	
	<i>Cyperus amuricus</i> (방동사니)	8.0	67	13	
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (돌피)	6.2	58	12	
	<i>Arthraxon hispidus</i> (조개풀)	5.2	13	6	
	<i>Persicaria sieboldii</i> (미꾸리낙시)	4.0	18	5	
	<i>Ludwigia prostrata</i> (여뀌바늘)	2.4	9	5	
	<i>Cyperus difformis</i> (알방동사니)	2.2	11	4	
	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (하늘지기)	2.2	9	4	
	<i>Bidens tripartita</i> (가막사리)	1.0	2	2	
	<i>Commelina communis</i> (닭의장풀)	1.0	4	2	
	<i>Eclipta prostrata</i> (한련초)	2.0	2	2	
	<i>Iris pseudoacorus</i> (노랑꽃창포)	0.4	4	2	
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> (미국개기장)	1.0	2	2	
	<i>Centipeda minima</i> (중대가리풀)	0.2	2	1	
	<i>Kyllinga brevifolia</i> var. <i>leiolepis</i> (파대가리)	0.2	2	1	
	<i>Mosla dianthera</i> (쥐깨풀)	0.4	2	1	
	<b><i>Iris pseudoacorus</i> community</b>				
	<i>Iris pseudoacorus</i> (노랑꽃창포)	60.0	318	65	
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> (돌피)	4.0	9	10	
	<i>Acorus calamus</i> var. <i>angustatus</i> (창포)	3.0	7	6	
	<i>Kyllinga brevifolia</i> var. <i>leiolepis</i> (파대가리)	3.0	7	6	
	<i>Lemna paucicostata</i> (개구리밥)	4.0	4	6	
	<i>Ludwigia prostrata</i> (여뀌바늘)	1.0	2	3	
	<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i> (골풀)	0.2	2	2	
	<i>Spirodela polyrhiza</i> (좁개구리밥)	0.2	2	2	
	<b><i>Typha angustifolia</i> community</b>				
	<i>Typha angustifolia</i> (애기부들)	46.0	149	63	
	<i>Scirpus triqueter</i> (새모고랭이)	9.0	153	37	
	Ground	<b><i>Phragmites australis</i> community</b>			
		<i>Phragmites australis</i> (갈대)	98.0	662	100
		<b><i>Zizania latifolia</i> community</b>			
		<i>Zizania latifolia</i> (줄)	94.0	209	100
		<b><i>Iris pseudoacorus</i> community</b>			
<i>Iris pseudoacorus</i> (노랑꽃창포)		84.0	198	68	
<i>Phragmites australis</i> (갈대)		13.0	58	27	
<i>Panicum dichotomiflorum</i> (미국개기장)		3.0	7	5	
<b><i>Typha angustifolia</i> community</b>					
<i>Typha angustifolia</i> (애기부들)		70.0	138	83	
<i>Persicaria thunbergii</i> (고마리)		1.2	7	9	
<i>Bidens frondosa</i> (미국가막사리)	0.2	2	4		
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (주름조개풀)	0.2	2	4		

\* IV : importance value=(relative coverage+relative frequency+relative density)/3

**Table 2.** Comparisons of plant diversity of four emergent- macrophytic communities on the floating island and on the ground

Habitat	Community	No. of species	Diversity index	Evenness index
Floating island	<i>Phragmites australis</i>	10	1.67	0.73
	<i>Zizania latifolia</i>	16	2.27	0.82
	<i>Iris pseudoacorus</i>	8	1.52	0.73
	<i>Typha angustifolia</i>	2	0.61	0.89
Ground	<i>Phragmites australis</i>	1	0.00	-
	<i>Zizania latifolia</i>	1	0.00	-
	<i>Iris pseudoacorus</i>	3	0.81	0.74
	<i>Typha angustifolia</i>	4	0.78	0.57

각각 10과 16이었고 다양도지수가 각각 1.67과 2.27로서 식물다양성이 크게 증가하였다.

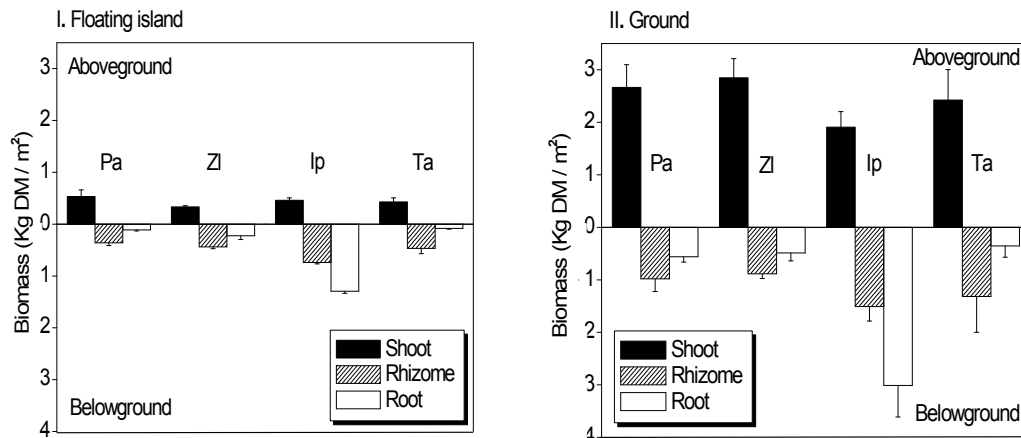
## 2. 식물섬과 육상에서 식물 생장의 비교

식물섬에서 식물의 건물(dry matter, DM)로 표시한 지상부(경엽부) 생물량은 갈대>노랑꽃창포>애기부들>줄의 순으로 많았으며, 육상에서는 줄>갈대>애기부들>노랑꽃창포의 순이었다(Fig. 4). 식물섬에서 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들의 지상부 생물량은 육상 생물량의 각각 0.20, 0.12, 0.24 및 0.18배로서 식물섬에서 지상부 생장이 저조하였다.

본 실험에 이용한 식물은 모두 다년생 정수 식물로서 지하경에 의하여 영양번식을 하였다. 갈대, 줄 및 애기부들은 지하부 생물량 중에서

지하경이 뿌리보다 식물섬과 육상에서 모두 많았다(Fig. 4). 그러나 노랑꽃창포에서는 뿌리의 생물량이 지하부보다 많았다. 특히 육상의 노랑꽃창포 지하부 생물량은 총 4.5 Kg DM/m<sup>2</sup>으로서 매우 많았으며, 이중 지하경과 뿌리가 각각 1.5 Kg DM/m<sup>2</sup>과 3.0 Kg DM/m<sup>2</sup>이었다. 식물섬에서 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들의 지하부 생물량은 육상 생물량의 각각 0.43, 0.48, 0.46 및 0.42배로서 식물섬에서 정수식물의 지하부 생장이 저조하였다. 한편 육상 생육지에 비하여 식물섬에서의 지하부 생물량의 감소는 지상부보다는 적었다.

식물섬에 식재된 정수식물에서 지하부/지상부의 생물량비는 0.88-4.41의 범위로서 갈대를 제외하고 지하부의 생물량이 지상부보다 많았



**Fig. 4.** Comparisons of aboveground and belowground biomasses of the four emergent macrophytes on the floating island (left) and on the ground (right). Error bars indicate standard errors (n=3). Pa, *Phragmites australis*; Zi, *Zizania latifolia*; Ip, *Iris pseudoacorus*; Ta, *Typha angustifolia*.

다(Table 3). 특히 노랑꽃창포의 지하부/지상부 생물량비는 4.41로서 4종 정수식물중에서 가장 높았다. 식물섬에서 정수식물의 지하부/지상부 생물량비는 육상의 것에 비하여 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 애기부들에서 각각 1.5, 4.1, 1.9 및 1.9배 높았다. 한편 지하부에서 지하경을 제외한 뿌리/지상부의 생물량비는 갈대와 애기부들에서는 식물섬과 육상에서 큰 차이가 없었으나 줄과 노랑꽃창포에서는 식물섬에서 크게 증가하였다.

**Table 3.** Biomass ratios of belowground/aboveground and root/aboveground of the emergent macrophytes on the floating island and on the ground

Community	Belowground/ Aboveground*		Root/ Aboveground	
	Floating island	Ground	Floating island	Ground
<i>Phragmites australis</i>	0.88	0.58	0.21	0.21
<i>Zizania latifolia</i>	1.99	0.48	0.67	0.17
<i>Iris pseudoacorus</i>	4.41	2.37	2.80	1.58
<i>Typha angustifolia</i>	1.28	0.69	0.19	0.15

\* Belowground=rhizome + root, aboveground = shoot.

#### IV. 고 찰

##### 1. 식물섬에서 식생 구조의 특징

인공적으로 조성한지 3년이 경과한 식물섬에서 식생 구조는 육상에 조성한 식생에 비하여 식재한 정수식물의 피도가 낮았고 다수의 식물이 자연적으로 유입되어 종다양성이 높았다(Table 1, Table 2). 특히 식물섬에서는 수생식물 뿐만 아니라 미꾸리뉘시, 돌피, 여뀌, 가막사리 등과 같은 습생식물 혹은 토끼풀과 같은 육상식물도 침입하였는데 대부분의 유입종은 습생식물이었다.

일반적으로 자연 습지에서 정수식물은 짧은 시간에 빠르게 성장하여 군집 안으로 투사되는 태양광선을 경엽부에서 차단하므로써 다른 식물의 성장을 저해한다(Weihe and Neely, 1997; Güsewell and Edwards, 1999). 이러한 결과 자연 습지에서는 갈대와 같은 정수식물이 단일종으로 구성된 순군집(mono-species community)을 형

성하는 경우가 흔하다(Allirand and Goose, 1995). 본 조사에서도 토양에 식재한 정수식물 중에서 생육이 왕성한 갈대와 줄 군집은 단일종 군집을 형성하였고, 습생식물인 노랑꽃창포와 생육이 저조한 애기부들에서도 이들의 중요치가 68% 이상으로서 소수의 식물중에 의하여 우점되는 식생구조를 나타내었다(Table 1). 그러나 식물섬에서는 식재한 정수식물의 피도가 육상 군집보다 낮아서 군집안으로 빛이 투과되고, 2×2 m<sup>2</sup> 크기의 식물섬이 물위에 독립적으로 떠있기 때문에 식물섬의 주변부로 투광이 가능하여 정수식물 아래에 다양한 식물이 유입되어 생육할 수 있다. 더욱이 침수된 자연 습지의 정수식물 군집과는 달리 식물섬에서는 부체에 의하여 수면위로 매질이 물위로 드러나기 있기 때문에 습생식물과 일부의 육상식물이 정착할 수 있었다.

식물섬에서 줄을 제외한 정수식물의 밀도는 육상의 군집보다 증가하였다(Table 1). 식물섬에서 정수식물은 토양 생육지에서 보다 키가 작은 경엽부의 밀도를 증가시키는 생존전략을 갖는 곳으로 생각된다. 즉 식물섬에서는 토양에서와는 달리 경엽부를 지지하는 지하부를 고정할 수 있는 매질이 부족하여 정수식물 경엽부의 키가 감소되고 대신 경엽부의 밀도가 증가된다고 할 수 있다.

##### 2. 식물섬에서 식물 생장의 특징

본 실험의 식물섬에서 정수식물의 생물량은 지상부와 지하부 모두 토양의 것보다 크게 감소하였다(Fig. 4). 이처럼 식물섬에서 식물의 생장이 저조한 것은 실험지 수체에서의 무기영양소 공급량이 토양에서의 공급량에 비하여 적기 때문이라고 생각된다. 실험에 이용한 갈대와 줄과 같은 정수식물은 자연 습지에서 생장율이 매우 크고 생물량도 많은 식물이다(Allirand and Gosse, 1995; Tanner, 1996). 자연 담수 습지에서 정수식물의 생산량은 1000-6000 g·m<sup>2</sup>·년<sup>-1</sup>의 범위로서 집중적으로 관리하는 재배식물보다 크다고 알려져 있다(Mitsch and Gosselink, 1993). 본 실험의 토양에 식재한 갈대, 줄 및 애기부들은 이 범위에 속하였으나 노랑꽃창포는

지하부의 생물량이 많아서 일반적인 범위를 초과하였다.

일반적으로 자연 습지에서 정수식물의 지하부/지상부의 생물량비는 1보다 크며(Kvet and Husak, 1978; Westlake, 1982), 또한 수처리용 인공습지에서 줄, 갈대 및 애기부들의 지하부/지상부 비가 0.9-1.6의 범위이었다(Hofmann, 1986; Tanner, 1996; Ennabili *et al.*, 1998). 그러나 본 실험지의 토양에 조성한 정수식물 군집에서 지하부/지상부 비는 노랑꽃창포를 제외하면 1 이하로서 지하부보다 지상부 생물량이 많았다. 이처럼 지하부/지상부 비가 낮은 이유는 지하부 채집시 물에 잠긴 토양에서 지하부를 충분히 채집하지 못하여 지하부 생물량이 과소평가되었기 때문인 것으로 생각된다. 더욱이 지하부/지상부 생물량 비는 동일종에서도 기후조건과 같은 환경요인에 따라서 다양하다고 보고되고 있다(Böhm, 1979).

정수식물의 지하부/지상부 생물량비는 육상보다 식물섬에서 크게 증가하였다(Table 3). 식물섬에 식재된 정수식물은 지하경과 뿌리로 구성된 지하부로 에너지를 분배하여 무기영양소의 농도가 낮은 수체로부터 영양소 흡수를 증대시키는 것으로 생각된다. 실제로 식물섬에서 지하부의 뿌리는 육상에 식재된 것보다 형태적으로 가늘고 길게 변형되어 있었는데, 이 결과 뿌리의 표면적이 극대화되어 영양소 흡수가 용이할 것으로 생각된다. 또한 식물섬의 정수식물에서 지하부의 지하경으로 분배되는 에너지의 비율도 증가하였다. 다년생 정수식물은 지하경에 저장된 영양분을 봄의 초기 성장시기에 소모하여 성장하기 때문에 지하경이 발달되어 있다(Van der Linden, 1980; Van der Linden, 1986).

### 3. 식물섬에 적합한 식물의 선발

식물섬에 식재한 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 갈대 중에서 경엽부의 밀도와 피도에 의하여 식물의 성장을 평가하면 갈대와 노랑꽃창포가 식물섬에서 상대적으로 잘 적응하는 종으로서 판단되었다(Table 1). 갈대와 노랑꽃창포는 토양보다 식물섬에서 경엽부의 밀도가 조밀하여 그들

의 생육공간을 빠르게 점유하고 있었다.

식물섬에서 식물 성장의 평가지수로서 식물섬과 육상의 지상부 생물량비(식물섬/육상)를 사용하면 노랑꽃창포가 0.24 > 갈대 0.20 > 애기부들 0.18 > 줄 0.12의 순서이었다(Fig. 5). 즉 상대적인 지상부 성장으로서 평가한 식물섬에 적합한 정수식물은 노랑꽃창포이었고 줄이 가장 부적하였다. 통계적으로 유의하지는 않았지만( $p=0.235$ ), 식물섬/육상의 지상부 생물량비는 육상에서 지하부/지상부 생물량비와 정상관이 이었다. 결국 정수식물 중에서 지하부의 상대적 생장이 좋은 식물이 식물섬에 적합한 것으로 판단되었다. 식물섬 환경은 토양에서 보다 영양소 흡수가 제한되기 때문에 뿌리가 발달한 지하부를 가진 식물이 적합하다고 할 수 있다.

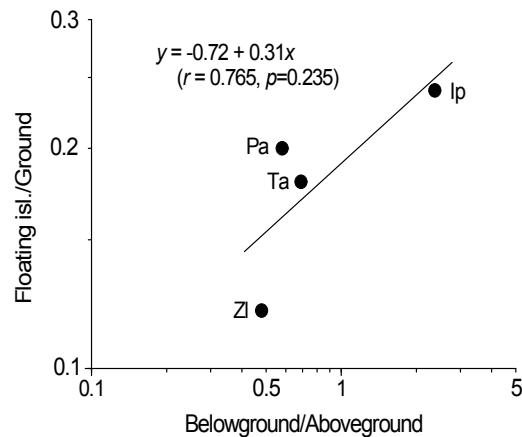


Fig. 5. Relationship between the biomass ratio of belowground/aboveground on the ground and aboveground-biomass ratio of floating island/ground. Pa, *Phragmites australis*; Zl, *Zizania latifolia*; Ip, *Iris pseudoacorus*; Ta, *Typha angustifolia*.

식물섬에 적합한 것으로 판정된 노랑꽃창포는 수심이 얇거나 지대가 물가보다 높은 습한 토양에서 왕성히 생육한다(Van de Rijt *et al.*, 1996; Lenssen *et al.*, 1999). 식물섬은 부체에 의하여 물에 잠기지 않는 환경이므로 노랑꽃창포가 수심이 깊은 곳에서 생육하는 수생식물보다 유리하다고 생각된다. 특히 노랑꽃창포는 지하부중에서 지하경보다는 뿌리가 발달하여 수체로부터 영양소 흡수에 유리한 것으로 판단된다. 식



물섬에서 노랑꽃창포는 지상부 길이가 1 m에 지나지 않으나 뿌리 길이가 2 m에 달하였고, 물 속의 뿌리가 뭉쳐져서 스폰지처럼 부드러웠고 표면적도 넓었다.

## V. 결 론

식물섬(floating island)은 수생식물을 토양에 식재하지 않고 부력을 가진 재질로 만들어진 부체 위에 식물을 착생시키는 생태공학 기술로서, 수심이 깊거나 수변부 경사가 급하여 식재가 불가능한 곳이나 콘크리트 등으로 조성되어 토양이 없는 연못, 호소 및 하안에서 수생식물이 생육할 수 있는 기반을 제공한다. 본 연구에 사용된 식물섬은 부력재를 이용하여 야자섬유로 충진된 매질이 부력을 갖도록 하였다. 이 식물섬에 갈대(*Phragmites australis*), 줄(*Zizania latifolia*), 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*) 및 애기부들(*Typha angustifolia*)의 정수식물 4종을 식재하여 콘크리트 수조에 띄우고, 토양에 식재한 식물군집과 식생구조와 생물량의 생장을 비교하였다.

인공적으로 조성한지 3년이 경과한 식물섬에서 식생 구조는 토양에 식재한 식생에 비하여 식재한 정수식물의 피도가 낮았고 다수의 식물이 자연적으로 유입되어 식물종다양성이 증가하였다. 한편 식물섬에서 줄을 제외하면 정수식물의 밀도는 육상의 군집보다 증가하였다. 식물섬에 식재한 갈대, 줄, 노랑꽃창포 및 갈대 중에서 경엽부의 밀도와 피도에 의하여 식물의 생장을 평가하면 갈대와 노랑꽃창포가 식물섬에서 상대적으로 잘 적응하는 종으로서 판단되었다. 갈대와 노랑꽃창포는 토양에서보다 식물섬에서 경엽부의 밀도가 조밀하여 생육공간을 빠르게 점유할 수 있었다.

식물섬에서 정수식물의 생물량은 지상부와 지하부에서 모두 토양에 식재한 것보다 감소하였으며, 특히 지상부의 생장이 저조하였다. 또한 정수식물의 지하부/지상부 생물량비는 육상보다 식물섬에서 크게 증가하였는데, 식물섬에 식재된 정수식물은 지하부로 에너지를 많이 분

배하여 무기영양소 농도가 낮은 수체로부터 영양소 흡수를 증대시킬 수 있었다. 식물섬/육상 지상부 생물량비로 평가하면 식물섬에 적합한 식물종은 노랑꽃창포이었고 줄이 가장 부적하였다. 노랑꽃창포는 지하부/지상부 생물량비가 높아서 지하부의 상대적 생장이 좋은 식물이고 이러한 식물이 영양소 흡수가 제한되는 식물섬 환경에서 적합하다고 판단되었다.

## 참 고 문 헌

- 권오병. 1999. 인공 식물섬을 설치한 호소의 수질개선 및 생태계 변화에 관한 연구. 한양대학교 석사학위논문. p. 132.
- 여천생태연구회. 1997. 현대생태학실험서. 교문사, 서울. p. 286.
- 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사, 서울. p. 990.
- 이광식 · 장정렬 · 김영경 · 박병훈. 1999. 저수지 수질개선을 위한 인공식물섬 조성에 관한 연구. 한국환경농학회지 18 : 77-82.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대학교 박사학위논문. p. 233.
- 최홍근. 1986. 한국의 수생식물지. 서울대학교 박사학위논문. p. 272.
- Allirand, J.M. and G. Gosse. 1995. An above-ground biomass production model for a common reed (*Phragmites communis* Trin.) stand. Biomass and Bioenergy 9 : 441-448.
- Böhm, W., 1979. Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies 33. Springer-Verlag, Berlin. p. 188.
- Ennabili, A., M. Ater, and M. Radoux. 1998. Biomass production and NPK retention in macrophytes from wetlands of the Tingitan Peninsula. Aquat. Bot. 62 : 45-56.
- Güsewell, S. and P. Edwards. 1999. Shading by *Phragmites australis* : A threat for species-rich fen meadow? Applied Vegetation Science 2 : 61-70.

- Hofmann, K., 1986. Growth of characteristics of reed (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel) in filter-beds loaded with sewage sludge. Arch. Hydrobiol. 107 : 385-409.
- Hogg, E.H. and R.W. Wein. 1988. The contribution of *Typha* components to floating mat buoyancy. Ecology 69 : 1035-1051.
- Kvet, J. and S. Husak. 1978. Primary data on biomass and production estimates in typical stands of fishpond littoral plant communities. In : D. Dykyjova and J. Kvet (eds.), Pond Littoral Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp. 211-216.
- Lenssen, J.P.M., F.B.J. Menting, W.H. van der Putten, and C.W.P.M. Blom. 1999. Effects of sediment type and water level on biomass production of wetland plant species. Aquat. Bot. 64 : 151-165.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York. p.722.
- Mueller, G., J. Sartoris, K. Nakamura, and J. Boutwell. 1996. Ukishima, floating islands, or Schwimmkampen? Lakeline. pp.18-26.
- Sasser, C.E. and J.G. Gosselink. 1984. Vegetation and primary production in a floating fresh marsh in Louisiana. Aquat. Bot. 20 : 245-255.
- Tanner, C.C. 1996. Plants for constructed wetland treatment systems-A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. Ecological Engineering 7 : 59-83.
- Van de Rijt, C.W.C.J., L. Hazelhoff, and C.W.P.M. Blom. 1996. Vegetation zonation in a former tidal area : A vegetation-type response model based on DCA and logistic regression using GIS. J. Veg. Sci. 7 : 505-518.
- Van der Linden, M.J.H.A. 1980. Nitrogen economy of reed vegetation in the Zuidelijk, Flevoland polder. I. Distribution of nitrogen among shoots and rhizomes during the growing season and loss of nitrogen due to fire management. Acta Oecologia Oecol. Plant 1 : 219-230.
- Van der Linden, M.J.H.A. 1986. Phosphorous economy of reed vegetation in the Zuidelijk, Flevoland polder : seasonal distribution of phosphorous among shoots and rhizomes and availability of soil phosphorous, Acta Oecologia Oecol. Plant 7 : 397-405.
- Weihe, P.E. and R.K. Neely. 1997. The effects of shading on competition between purple loosestrife and broad-leaved cattail. Aquat. Bot. 59 : 127-138.
- Westlake, D.F. 1982. The primary productivity of water plants. In : J.J. Symoens S.S. Hooper, and P. Compère (Eds.), Studies on Aquatic Vascular Plants. Royal Botanical Society, Belgium. pp. 165-181.

接受 2001年 2月 2日